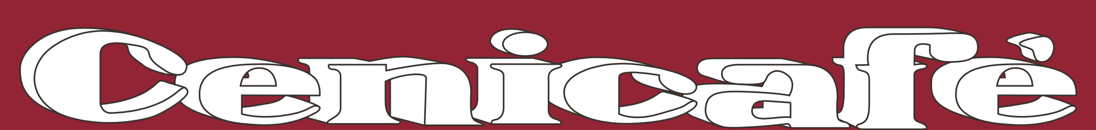




AVANCES TÉCNICOS 226



Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / Abril de 1996

TRANSPORTE DE LA PULPA DE CAFÉ A LOS PROCESADORES MEDIANTE TORNILLO SINFÍN

Juan Rodrigo Sanz-Uribe*

El despulpado sin agua (1,6) y el transporte de la pulpa hasta los procesadores o sitios de acopio y descomposición utilizando medios no hidráulicos permite evitar hasta un 72% de la contaminación potencial de las aguas causada por el beneficio húmedo del café (15).

El tornillo sinfín (Figuras 1, 2 y 11) consiste en un rotor en forma de hélice continua (tornillo), que al girar apoyado en sus dos extremos dentro de una carcaza fija en forma de "U" o en un tubo, imparte movimiento axial al material que en ella se deposite.

Este sistema puede ser utilizado para transportar la pulpa de café sola o mezclada con mucílago (Figura 2), proveniente del desmucilaginador mecánico (Deslim) el cual demanda bajos

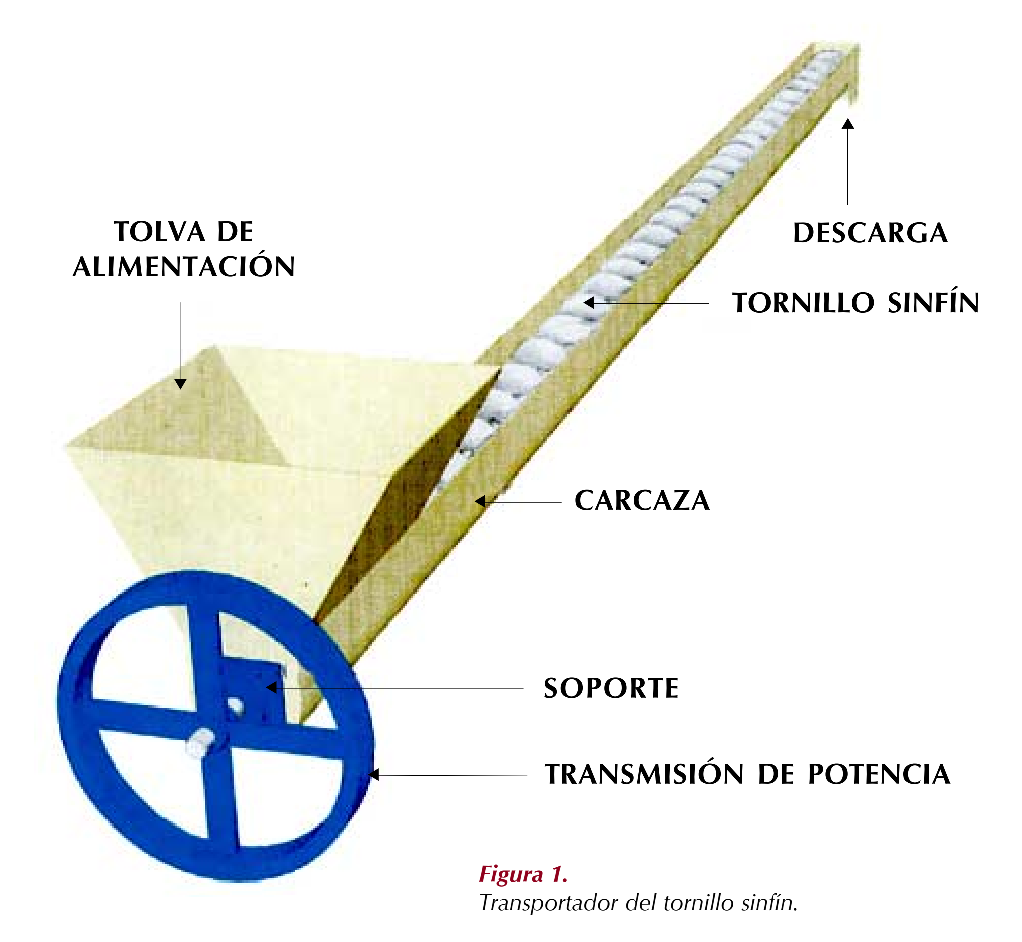


Figura 1.
Transportador del tornillo sinfín.

---

* Asistente de Investigación. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

consumos específicos de agua, menores a 1 litro por kilogramo de café pergamino seco (cps) (9). Este transportador se caracteriza por la sencillez de su construcción, montaje, manejo, mantenimiento, y es relativamente económico y poco exigente en potencia.

Cuando se utiliza el tornillo sinfín para el transporte y mezcla de la pulpa con el mucílago concentrado se obtiene una retención de fluídos en la pulpa mayor del 55,78%. Cuando se adiciona el mucílago por gravedad, en el mejor de los casos la retención de fluídos por la pulpa es del orden de 32,21% (10). Esta razón, sumada al despulpado sin agua, hace que el tornillo sinfín se constituya en pieza fundamental en el beneficio ecológico del café por vía húmeda, lográndose una reducción de la contaminación mayor del 80% (7,9,13).

En el caso de existir sistemas de transporte de pulpa en distancias largas, que requieren menor inversión inicial como el caso de la banda transportadora, se recomienda realizar la mezcla de la pulpa y el mucílago concentrado en un tramo corto del tornillo sinfín y continuar el transporte en el otro dispositivo.



Figura 2. *Descarga de pulpa mezclada con mucílago de café en un tornillo sinfín.*

Dimensiones del tornillo sinfín

En la Figura 3, sobre el dibujo esquemático de un tornillo sinfín, se describen las principales dimensiones del rotor de los transportadores. Se denomina **D** al diámetro exterior, **d** al diámetro interior o diámetro del eje, **p,** al paso o avance por vuelta, **h** a la altura de la hélice, **Le** a la longitud efectiva de rosca y **L** a la longitud total, incluyendo la longitud de los apoyos.

Para obtener las dimensiones y características de este sistema en el transporte de pulpa sola o mezclada con mucílago concentrado, se desarrolló en Cenicafé la siguiente metodología.

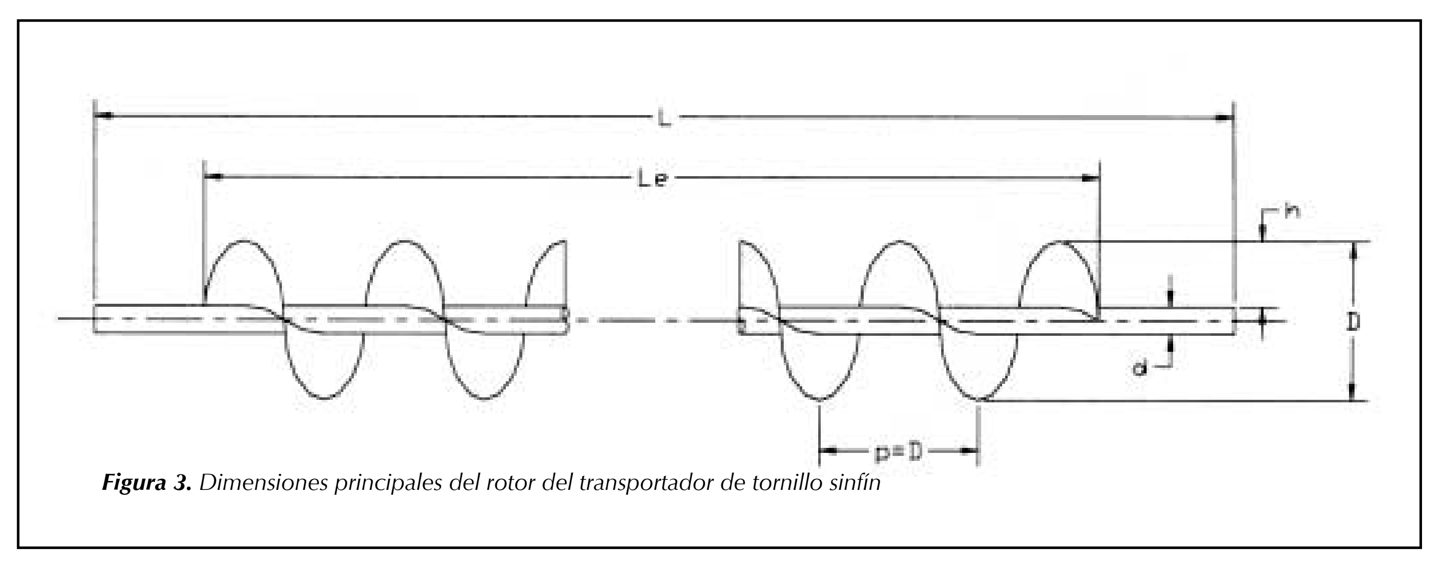


Figura 3. *Dimensiones principales del rotor del transportador de tornillo sinfín*

Selección del diámetro exterior del tornillo sinfín

Para facilitar la selección del diámetro exterior que debe tener el tornillo sinfín, se incluye la Figura 4. En la parte inferior, se observan las curvas de tiempo de despulpado en el día pico y de la capacidad de transporte para diferentes capacidades de beneficiadero, y también en el día pico, calculadas con una velocidad angular en el eje de 180 rpm, paso igual al diámetro exterior y una inclinación máxima con la horizontal de 30º.

En la parte superior se presenta una curva de la capacidad de transporte contra el diámetro exterior.

Para manejar la gráfica, inicialmente se debe estimar la cantidad de horas utilizadas para despulpar el café en el día pico; con este valor (en la parte inferior de la figura), se va horizontalmente hacia la derecha hasta cortar la capacidad en kilogramos de cps del beneficiadero en el día pico.

Desde este punto se desplaza verticalmente cortando el eje X y la curva superior; el punto de corte con el eje X es el valor de la capacidad de transporte de **pulpa sola** requerida y en el punto de corte con la curva superior se desplaza horizontalmente hacia la izquierda hasta cortar el eje Y, donde se obtiene el valor teórico del diámetro exterior del tornillo sinfín Do.

Para efectos prácticos se preparó también la Tabla 1, donde, con base en el valor de Do obtenido en la Figura 4 se pueden hallar los valores para el diámetro exterior D que debe tener el tornillo** y el diámetro nominal*** Dn en milímetros y pulgadas****.

Ejemplo

Si el tiempo utilizado para despulpar el café cereza del día pico es de 3 horas y el beneficiadero está diseñado para 1.500 kg de cps por día, en la Figura 4 obtenemos que la capacidad del tornillo sinfín debe ser de 16 kg/min y el valor de Do es 102,5 mm, como se observa en líneas punteadas.

Como Do está entre 72, 19 y 103, 70 mm, de la Tabla 1 seleccionamos un valor para el diámetro exterior D de 103,7 (Dn=114 mm = 4"), paso igual al diámetro (p=D), 180 rpm y una inclinación inferior a 30º.

TABLA 1. Cálculo del diámetro exterior D y el diámetro nominal Dn, del tornillo sinfín, una vez conocido el diámetro exterior del tornillo sinfin.

Do [mm]	D [mm]	Dn [mm] (pul)
Do < 50,49	50,49	60 (2)
50,49<Do < 72,19	72,19	82 (3)
72,19<Do < 103,70	103,70	114 (4)
103,70<Do < 156,04	156,04	168 (6)

** *Al diámetro D se le ha dado el valor del diámetro interior de la tubería PVC sanitaria (11) menos 4 mm.*

*** *El diámetro nominal es una denominación generalizada, que difiere del valor real.*

**** *El sistema Inglés de unidades es más comprendido en el ambiente cafetero que el Sistema Internacional de unidades.*

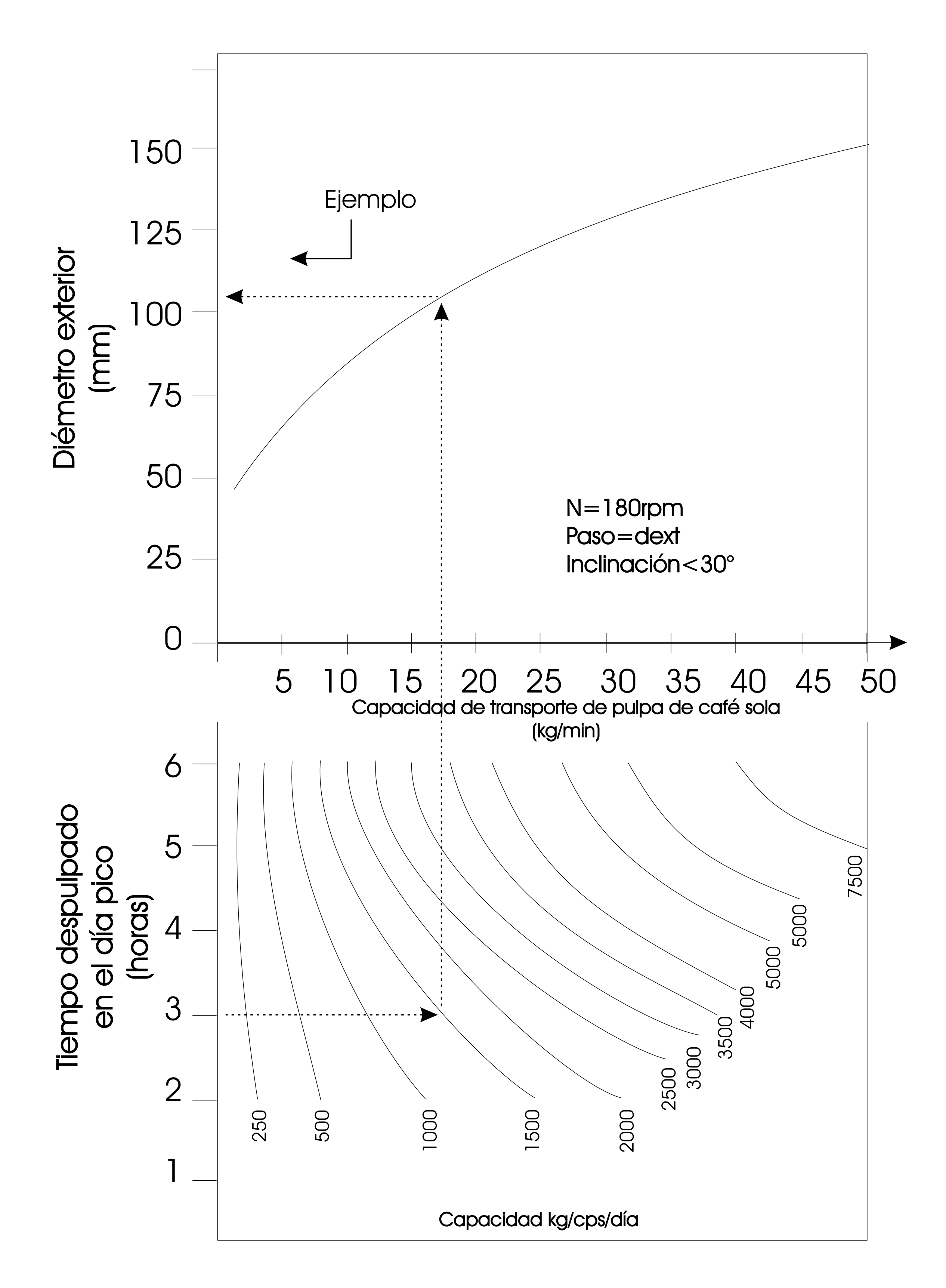


Figura 4. *Curvas para la selección del diámetro exterior en transportadores de tornillo sinfín para pulpa de café sola o mezclada con mucílago concentrado*

Diámetro del eje y potencia del tornillo sinfín

Debido a que los ejes del rotor de los transportadores de tornillo sinfín son largos, su propio peso causa problemas de flexión y vibraciones indeseables (5, 8), por esta razón y por economía, es recomendable utilizar **tubería galvanizada** en lugar de ejes macizos.

El diámetro del tubo a utilizar como eje del tornillo sinfín depende de la longitud y de la potencia que se requiera para moverlo. En la Tabla 2 se presentan valores de diámetro de tubería galvanizada y de las potencias, recomendados para diferentes longitudes y capacidades, calculados de acuedo a criterios de la Ingeniería Mecánica (5, 8, 12) y con base en la teoría de este tipo de transportadores (3, 14), utilizando programas de computador (2, 4).

Por los requerimientos tan bajos de potencia, en muchos de los casos, cuando los ejes de las despulpadoras y del tornillo están paralelos, se facilita utilizar el mismo motor para accionarlos simultáneamente y evitar la instalación de un motor adicional.

Cuando las longitudes de los transportadores de tornillo sinfín superan los valores indicados en la Tabla 2, se deben utilizar apoyos intermedios. El diseño de estos apoyos debe ser cuidadoso, debido a que una reducción en el área transversal se puede constituir en una reducción de la capacidad y un aumento considerable de la potencia.

TABLA 2. Potencias y diámetros de ejes en tubería galvanizada, recomendados para transportadores de tornillo sinfín con pulpa sola o mezclada con mucílago concentrado.

Longitud efectiva [m]	Rango de Capacidad [kg/min]	Motor Recomendado [kW] (hp)	d Recomendado [mm] (pul)
2,00	< 30	0,30 (0,40)	26,67 (¾)
2,00	30-50	0,67 (0,90)	26,67 (¾)
2,50	< 20	0,30 (0,40)	26,67 (¾)
2,50	20-50	0,67 (0,90)	26,67 (¾)
3,00	< 20	0,30 (0,40)	26,67 (¾)
3,00	20-50	0,67 (0,90)	26,67 (¾)
3,50	< 10	0,30 (0,40)	26,67 (¾)
3,50	10-50	0,67 (0,90)	26,67 (¾)
4,00	< 10	0,30 (0,90)	33,40 (1)
4,00	10-50	0,67 (0,90)	33,40 (1)
4,50	< 10	0,30 (0,40)	42,16 (1¼)
4,50	10-50	0,67 (0,90)	42,16 (1¼)
5,00	< 10	0,30 (0,40)	42,16 (1¼)
5,00	10-50	0,67 (0,90)	42,16 (1¼)

Construcción del tornillo sinfín

Un tornillo sinfín se puede definir como una sucesión de discos de lámina como el de la Figura 5 con dimensiones especiales, los cuales tienen que ser cortados en forma radial (Figuras 5 y 6) y unidos unos con otros (Figura 7) de manera que formen una especie de resorte helicoidal, que al ser estirado y unido sobre un eje forma el rotor, tal como lo muestran las Figuras 8 y 9. La lámina que puede ser utilizada para este fin de manera que facilite la construcción sin sacrificar resistencia mecánica, puede ser "Hot Rolled"de acero calibre 16.



Figura 7. *Unión de los discos con soldadura eléctrica*

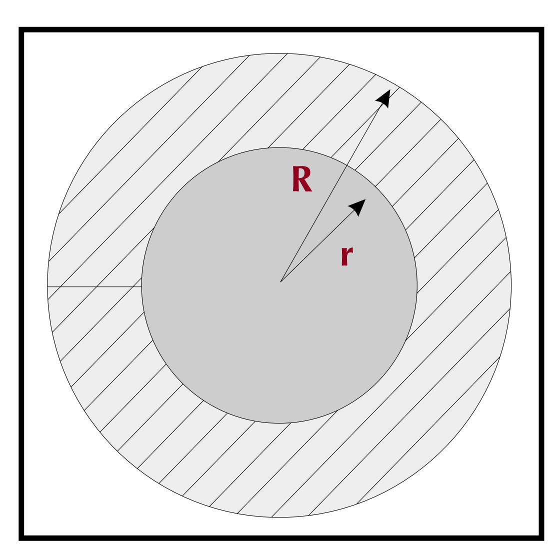


Figura 5. *Dimensiones de los discos*



Figura 8. *Estiramiento de los discos sobre el eje a manera de resorte helicoidal*

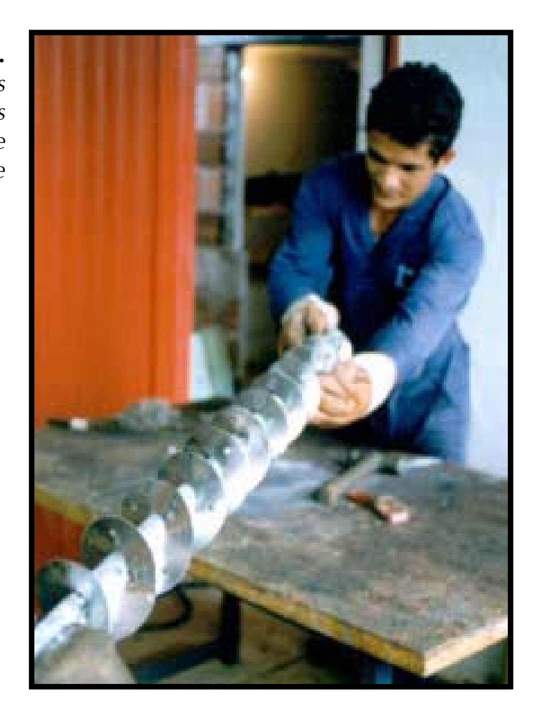


Figura 9. *Discos estirados completamente sobre el eje*

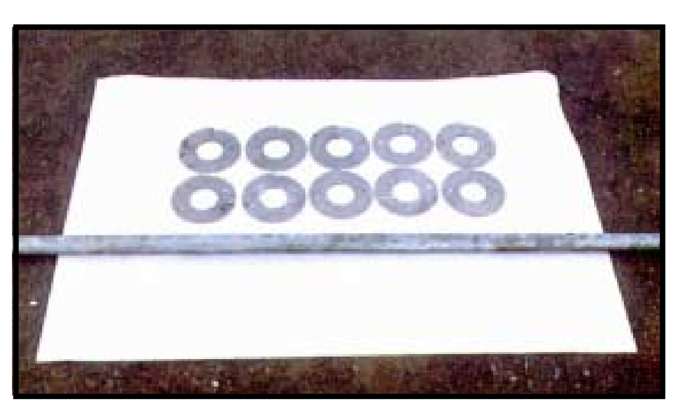


Figura 6. *Discos en lámina y eje en tubería galvanizada*

Para evitar errores en el montaje, se debe tener en cuenta la dirección del lugar de descarga y el sentido de giro que se va a utilizar, para determinar si el rotor tiene rosca izquierda o derecha. El tipo de rosca tiene que ser tomado en cuenta en el momento que se estén uniendo los discos.

Las dimensiones que deben tener los discos, en los tornillos que Cenicafé ha venido diseñando, se pueden obtener de la Tabla 3, donde con el diámetro exterior **D** y el diámetro del eje **d** obtenidos con anterioridad, se pueden determinar el radio mayor del disco **R**, el radio menor del disco **r** y el número de discos por metro lineal de tornillo **n**.

Después de unidos y estirados los discos sobre el eje de tubería galvanizada se debe rectificar el paso y la perpendicularidad (Figura 10), antes de ser unidos rígidamente con soldadura eléctrica al eje. Cuando se esté aplicando la soldadura, se deben realizar "cordones" en lugares suficientemente distanciados para evitar deformaciones por el calentamiento del tubo y en lugares diametralmente opuestos para evitar problemas de desbalanceo.

Tabla 3. Dimensiones de los discos para la construcción del rotor del transportador de tornillo sinfín.

D=p [mm]	d [mm]	R [mm]	r_0 [mm]	η [Uds/m]
50,49	26,67	28,88	16,97	18,16
50,49	33,40	28,44	19,89	18,45
50,49	42,16	28,05	23,88	18,70
72,19	26,67	42,52	19,75	12,34
72,19	33,40	41,72	22,32	12,57
72,19	42,16	41,00	25,98	12,79
103,70	26,67	63,13	24,61	8,31
103,70	33,40	61,83	26,67	8,48
103,70	42,16	60,57	29,80	8,66
156,04	26,67	98,65	33,96	5,31
156,04	33,40	96,64	35,32	5,42
156,04	42,16	94,56	37,62	5,54



Figura 11. *Sinfín en la base de una tolva recibidora*



Figura 10. *Calibración del paso y la perpendicularidad de los discos antes de ser soldados*

Mantenimiento

Debido a que el material que se transporta es acelerante de la corrosión después de transcurridas tres horas, se hace necesaria una buena limpieza después de cada labor de despulpado y desmucilaginado.

También se recomienda, para evitar el deterioro de este dispositivo mecánico, la lubricación de las chumaceras por lo menos cada mes, y la protección con pintura anticorrosiva o convertidora de óxido, después de cada cosecha.

LITERATURA CITADA

1. ALVAREZ G., J. Despulpado del café sin agua. Chinchiná, Cenicafé, 1991. 6p. (Avances Técnicos Cenicafé Nº 164)

2. AUTODESK. Autocad release 12. User's guide. Sausalito, Autodesk, 1993. 300 p.

3. BAUMEISTER, T.; AVALLONE, E.; BAUMEISTER III, T. Marks. Manual del ingeniero mecánico. 8. ed. México, Mc-Graw Hill, 1984. p. 10-1 - 10-66

4. BORLAN. Quattro Pro for Windows. User's guide. Version 5.0. Scotts Valley, Borland, 1993. 638 p.

5. FAIRES, V. M. Diseño de elementos de máquinas. 4. ed. Buenos Aires, Editorial Pomaire. 1980. 802 p.

6. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Fundamentos del beneficio húmedo del café. Chinchiná, Cenicafé, 1991. 236 p.

7. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé. Programa de Postcosecha, 1995. 131 p.

8. HALL, A. S; HALOWENCO, A. R.; LAUGHLIN, H. G. Diseño de elementos de máquinas. México, Mc -Graw Hill, 1971. p. 89-130 (Serie Schaum).

9. OLIVEROS T., C; ROA M., G. El desmucilaginado mecánico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 8p. (Avances Técnicos Cenicafé Nº 216).

10. PASCUAS L., R. T. Estudio de la retención en pulpa del efluente líquido-sólido resultante del beneficio ecológico del café. Experimento ING-0604. Chinchiná, Cenicafé, 1996. (Resultados parciales).

11. PAVCO. Manual Técnico. Tuberías y accesorios sanitarios PVC. Bogotá, PAVCO, 1991. 15 p.

12. POPOV, E. P. Introducción a la mecánica de sólidos. México, Limusa, 1976. 652 p.

13. RAMÍREZ G., C. A. Evaluación económica y ecológica del módulo "Desmulac" con respecto al proceso tradicional de café por vía húmeda. *In*: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. CENICAFÉ. CHINCHINÁ. Informe anual de labores de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. Chinchiná, Cenicafé, 1994. 11 p.

14. TARGHETTA A., L; LÓPEZ R., A. Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria básica. Tomo II. Madrid, Blume, 1970. p. 611-733.

15. ZAMBRANO F., D.M.; ZULUAGA V., J. Balance de materia en un proceso de beneficio húmedo de café. Cenicafé 44(2):45-55. 1993.



Centro Nacional de Investigaciones de Café
"Pedro Uribe Mejía"

Chinchiná, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manizales
cenicafe@cafedecolombia.com

Edición: ***Héctor Fabio Ospina O.***
Fotografía: ***Gonzalo Hoyos S.***
Diagramación: ***Blanca I. Manrique D.***
Dibujos en Autocad: ***Juan Rodrigo Sanz U.***